

Laboratorio de Comunicaciones Digitales

ETSII Telecomunicación
Grado en Ingeniería de Tecnologías de Telecomunicación
Universidad de Cantabria
Curso 2023/2024

Práctica 3. OFDM

Metodología

El alumno dispone de dos sesiones (4 horas) de laboratorio para realizar esta. Se deberá crear uno o varios ficheros (preferiblemente .m) con sus comentarios y comandos *title*, *xlabel*, *legend*, *disp*,... para documentar el código y los resultados presentados en pantalla. El profesor evaluará durante la sesión y mediante un control/test posterior los conocimientos y destrezas adquiridos por el alumno.

Objetivos

El objetivo de esta práctica es implementar el transmisor y receptor de un sistema OFDM equivalente paso bajo. En concreto, se estudiará la utilización de la IFFT/FFT y la incorporación de la extensión cíclica durante el tiempo de guarda. Así mismo se comprobará la influencia del ruido, los canales selectivos en frecuencia, el ruido de fase y el error frecuencial en las constelaciones recibidas.

En esta práctica no se usarán frecuencias de guarda ni subportadoras piloto ni subportadoras de DC, por lo que el tamaño de la FFT, N_{FFT} , coincide con el número de subportadoras útiles, N_u , es decir, se trabajará con un número total de subportadoras, N , cuyo valor es $N = N_{FFT} = N_u$.

a) Transmisor OFDM.

Puede utilizar, como punto de partida, el código proporcionado en los ejemplos del profesor (ofdm.mlx) para implementar con Matlab un transmisor OFDM QPSK ($M=4$). El código deberá ser suficientemente flexible como para poder modificar el número de símbolos OFDM a generar, el número de subportadoras, el número de muestras del periodo de guarda y el factor de sobremuestreo.

Genere en principio $N_s=3$ símbolos OFDM con $N=16$ subportadoras, $N_g=4$ muestras de guarda con extensión cíclica y un factor de sobremuestreo $L=20$. Es importante que el alumno comprenda el manejo que hace Matlab de las distintas variables matriciales. En concreto, la matriz de bits, la matriz de símbolos en cada subportadora y la matriz de muestras temporales tienen todas ellas $N_s=3$ columnas (una por cada símbolo OFDM generado), mientras que el número de filas es, respectivamente, $N \cdot \log_2(M)=32$, $N=16$ y $N \cdot L=320$. Compruébelo.

Represente gráficamente la señal transmitida equivalente paso bajo (componente en fase, componente en cuadratura y la envolvente o módulo). Observe y compruebe el número de muestras que componen cada símbolo OFDM y cada tiempo de guarda.

En un dispositivo comercial, esta señal compleja banda base se convertirá en una señal paso banda mediante un modulador IQ para ser emitida por la antena o el cable. En el laboratorio utilizará la función **OFDM_osciloscopio** que se encarga de realizar varias tareas:

- Representa en una figura la parte real (señal I), la parte imaginaria (señal Q), el módulo (amplitud envolvente) y la densidad espectral de potencia de la señal equivalente paso bajo.
- Modula IQ la señal la señal equivalente paso bajo usando una frecuencia central de 15 KHz.
- Representa en otra figura la señal paso banda transmitida (y su envolvente) y su densidad espectral de potencia.

- Envía al conversor Digital-Analógico de la tarjeta de sonido del ordenador la señal I y, tras pulsar una tecla, la señal paso banda para poder ser observadas en el osciloscopio.

Ejecute `OFDM_osciloscopio(mi_señal_transmitida_eq_pb)` y observe las señales en el dominio temporal y frecuencial que se muestran en las figuras de Matlab que aparecen. Simultáneamente, observe la señal I y, posteriormente, la señal paso banda en el osciloscopio. No olvide conectar adecuadamente los cables de audio entre el ordenador y el osciloscopio (en caso de duda, pregunte al profesor). Comprenda la relación entre la duración de los distintos intervalos en las señales discretas de las figuras ($N*L$ y $Ng*L$ muestras) y en las señales continuas del osciloscopio (T y T_g segundos).

¿Qué frecuencia de muestreo está usando el conversor D/A de la tarjeta de sonido? **Cuando conozca la respuesta deberá trasladársela de forma razonada al profesor.**

b) Receptor OFDM.

Utilice directamente la señal transmitida equivalente paso bajo del apartado anterior como señal recibida, es decir, no incluya ningún tipo de canal ni añada ruido. Implemente el receptor OFDM. No olvide diezmar por el factor L la señal recibida y recuerde descartar (eliminar) las muestras correspondientes al tiempo de guarda antes de calcular la FFT. Represente la constelación recibida de una cualquiera de las subportadoras (o de varias en distintos subplots). Será necesario transmitir un número mayor de símbolos, N_s , para ver una constelación con todos sus posibles estados (¿por qué?).

Compruebe que transmisor y receptor funcionan correctamente variando los parámetros N_s , N , Ng y L . Pruebe con otras modulaciones (cambie M para, por ejemplo, 16QAM).

c) Efecto del ruido.

Genere $N_s=200$ símbolos OFDM con $N=16$ subportadoras moduladas con QPSK, $Ng=4$ muestras de guarda y un factor de sobremuestreo de $L=1$. Añada ruido AWGN (use la función Matlab `awgn`) a la señal recibida y observe su efecto en la(s) constelación(es) recibida(s). Pruebe con valores de SNR de 20, 10 y 5 dBs.

d) Efecto de canales selectivos en frecuencia.

Genere $N_s=200$ símbolos OFDM con $N=16$ subportadoras moduladas con QPSK, $Ng=4$ muestras de guarda y un factor de sobremuestreo de $L=1$. En este apartado no añada ruido a la señal recibida para observar exclusivamente el efecto del canal.

Emplee un canal equivalente paso bajo cuya respuesta al impulso viene dada por el vector:

$$hc = [0.7 * \exp(1i * 30 * \pi / 180), 0, 0.4 * \exp(1i * 300 * \pi / 180), 0.1 * \exp(1i * 210 * \pi / 180)];$$

Filtre la señal transmitida con dicho canal (use `filter(hc, 1, xt)`) y observe las 16 constelaciones recibidas. Puede observar la respuesta en frecuencia del canal (ejecute `freqz(hc, 1, 0:N-1, N)`) y comprobar cómo, en efecto, cada constelación se ve afectada por la atenuación y desfase correspondiente a la respuesta del canal a la frecuencia de la subportadora considerada. También puede ser clarificador representar los símbolos recibidos después de la `fft`, ejecutando, por ejemplo, `stem(abs(z))`, siendo z la matriz de símbolos a la salida de la `fft`.

En este ejemplo ¿hay ISI?, ¿hay ICI (Inter Carrier Interference) ?, ¿por qué?

Pruebe con un tiempo de guarda de $Ng=2$ muestras. Repita el proceso y responda a las mismas preguntas. Pruebe de nuevo con un tiempo de guarda de $Ng=4$ muestras, pero utilice un canal con más memoria (más coeficientes en el vector de la respuesta al impulso).

e) Guarda sin extensión cíclica.

Repita el apartado anterior con el canal propuesto pero empleando un transmisor con guarda temporal sin extensión cíclica, es decir, insertando muestras nulas en el intervalo de guarda. Para el canal propuesto y un tiempo de guarda de $N_g=4$ muestras, ¿hay ISI?, ¿hay ICI?, ¿por qué?

f) Errores de fase y de frecuencia

Transmita $N_s=200$ símbolos OFDM con $N=16$ subportadoras moduladas 16QAM, factor de sobremuestreo $L=1$, y sin ruido ni canal que distorsione. Compruebe el efecto que tiene en las constelaciones recibidas un error constante de fase de 30° , sin más que multiplicar la señal transmitida por una constante compleja de módulo unidad y fase 30° .

De la misma forma, puede experimentar con el efecto de un offset frecuencial (para mayor claridad, use en este caso subportadoras moduladas QPSK). Para ello, multiplique la señal transmitida por una señal exponencial compleja $\exp(1i*2*\pi*offset_frec/fs*(1:length(xt)))$ de frecuencia $offset_frec$ Hz (considere como frecuencia de muestreo, fs , la usada por la tarjeta de sonido en el apartado a). Utilice, inicialmente, un offset frecuencial igual al 0.02% de Δf , siendo Δf la separación en Hz entre subportadoras. Quizás sea clarificador probar con diversos offsets frecuenciales (0.01%, 0.04% y 1.5% de Δf , por ejemplo). En cualquier caso, observe el(los) efecto(s) en las constelaciones recibidas.